بنام خدا

آزمون ۲۱ اسفند ۱۳۹۴ قلم چی- چهارم تجربی وریاضی - درس فیزیک ۴- مبحث صوت

مولف :مصطفی کیانی،گزینشگرو طراح آزمون های قلم چی ،مولف کتاب های فیزیک قلم چی

آن چه برای این آزمون نیاز دارید را به صورت خلاصه بیان می کنم.امیدوارم براتون مفید باشه .اگر این روش را می پسندید، اعلام کنید تا بازم براتون بنویسم.

صوت:

۱- موج‌های صوتی از نوع موج های مکانیکی، طولی و کروی است و در مایع‌ها، جامدها و گازها منتشر می‌شود.

۲- موج های صوتی به صورت لایه های تراکمی و انبساطی در محیط منتشر می شود. لایه‌های تراکمی، پر فشار و چگالی زیاد دارند و لایه‌های انبساطی کم فشار و چگالی کم دارند.

۳- در انتشار صوت در یک محیط ذره‌های محیط منتقل نمی‌شوند. به عنوان مثال ،در انتشار صوت در هوا ،ذره‌های هوا جابه‌جا نمی‌شوند، بلکه بین یک لایه‌ی تراکمی و یک لایه‌ی انبساطی حرکت نوسانی انجام می‌دهند.

۴- سرعت صوت در هر محیط به شرایط فیزیکی آن محیط بستگی دارد. هر چه ماده متراکم‌تر باشد، سرعت صوت در آن ماده بیش‌تر است، بنابراین سرعت صوت در جامدها بیش‌تر از مایع‌ها و در مایع‌ها بیش‌تر از گازها است

۵- هرگاه موج صوتی از یک محیط وارد محیط دیگر می‌شود، بسامد آن ثابت می‌ماند، (زیرا بسامد از ویژگی‌های منبع صوت است) اما سرعت و طول موج آن به یک نسبت تغییر می‌کنند، زیرا سرعت به شرایط فیزیکی محیط بستگی دارد.

در حالتی که صوت از یک محیط وارد محیط دیگر شود، رابطه‌ی زیر، بین سرعت صوت و طول موج دردو محیط برقرار است.

$$f = \frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{V_2}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}.$$

مثال: وقتی موج‌های صوتی از هوا وارد شیشه می‌گردد، بسامد، سرعت و طول موج آن چه تغییری می‌کنند؟

پاسخ:بسامدصوت ثابت می ماند.زیرا بسامد از ویژگی های چشمه ی صوت است و به شرایط محیطی بستگی ندارد.

سرعت صوت افزایش می یابد.زیرا سرعت صوت در جامد ها بیش تر از مایع ها و گاز ها می باشد.

طول موج صوت افزایش می یابد.زیا طول موج با سرعت صوت نسبت مستقیم دارد.

۶– سرعت انتشار صوت در گازها به دمای مطلق گاز، جرم مولکولی گاز (جنس گاز) و ضریب اتمیسیته‌ی گاز بستگی دارد و از رابطه ی زیر به دست می آید.

در این رابطه T دمای مطلق گاز برحسب کلوین $(T = \theta_{(c^\circ)} + ۲۷۳)$ ، R ثابت عمومی گازها، M جرم مولکولی گاز و γ ضریب اتمیسیته‌ی گاز نام دارد.

۷- برای حل بعضی تست های ترکیبی سرعت صوت لازم است معادله حالت گاز های کامل را به کار ببرید. $\frac{p_۱V_۱}{T_۱} = \frac{p_۲V_۲}{T_۲}$

مثال: گازی با دمای ۱۵ درجه‌ی سلسیوس را تا (۷۳-) درجه‌ی سلسیوس سرد کرده‌ایم. در نتیجه سرعت صوت در آن گاز ۱۲۵ متر بر ثانیه تغییر کرده است. سرعت صوت قبل از سرد کردن چند متر بر ثانیه بوده است؟

۱) ۷۵۰ ۲) ۶۵۰ ۳) ۶۰۰ ۴) ۵۵۰

حل: گزینه(۱) بنابه رابطه‌ی $V = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}}$ ، سرعت صوت در یک گاز با جذر دمای مطلق گاز نسبت مستقیم دارد . بنابراین با سرد کردن گاز، سرعت صوت درآن کاهش می‌یابد. در نتیجه، سرعت صوت از $V_۱$ به $V_۲ = V_۱ - ۱۲۵$ می‌رسد. با توجه به این که $T_۱ = ۲۷۳ + ۱۵ = ۲۸۸\,k$ و $T_۲ = ۲۷۳ - ۷۳ = ۲۰۰\,k$ و M و γ مقدارهای ثابتی‌اند، می‌توان نوشت:

$$V = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}} \xrightarrow{M_۱=M_۲,\gamma_۱=\gamma_۲} \frac{V_۲}{V_۱} = \sqrt{\frac{T_۲}{T_۱}} \Rightarrow \frac{V_۱ - ۱۲۵}{V_۱} = \sqrt{\frac{۲۰۰}{۲۸۸}} = \sqrt{\frac{۱۰۰}{۱۴۴}} = \frac{۱۰}{۱۲} \Rightarrow V_۱ = ۷۵۰\,m/s$$

مثال: سرعت صوت در هیدروژن ۲۷ درجه‌ی سلسیوسچند برابر سرعت صوت دراکسیژن ۳۲۷ درجه‌ی سلسیوس است؟

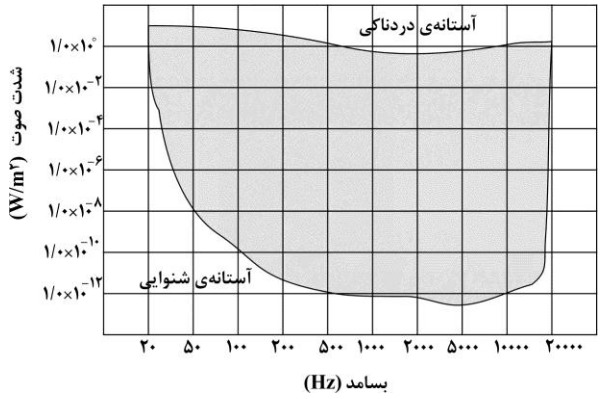
۱) $۴\sqrt{۲}$ ۲) $۲\sqrt{۲}$ ۳) $\sqrt{۲}$ ۴) $\frac{\sqrt{۲}}{۴}$

حل: گزینه (۲) با توجه‌به این که $M_{(H_۲)} = ۲\,g/mol$ و $M_{(O_۲)} = ۳۲\,g/mol$ و $T_{(H_۲)} = ۲۷۳ + ۲۷ = ۳۰۰\,K$ و $T_{(O_۲)} = ۲۷۳ + ۳۲۷ = ۶۰۰\,K$ است، می‌توان نوشت:

$$V = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}} \xrightarrow{\gamma(O_۲)=\gamma(H_۲)} \frac{V_{(H_۲)}}{V_{(O_۲)}} = \sqrt{\frac{T_{(H_۲)}}{T_{(O_۲)}} \times \frac{M_{(O_۲)}}{M_{(H_۲)}}} = \sqrt{\frac{۳۰۰}{۶۰۰} \times \frac{۳۲}{۲}} = ۲\sqrt{۲}$$

۸- گوش انسان تنها می‌تواند موج‌های صوتی را بشنود که بسامد آن‌ها بین $۲۰Hz$ تا $۲۰۰۰۰Hz$ هرتز باشد.بدیهی است ، طول موج هایی که گوش انسان می تواندریافت می کند بین $\frac{v}{۲۰}$ هرتز تا $\frac{v}{۲۰۰۰۰}$ هرتز است.v سرعت صوت در محیط است.

۹- در شکل زیر نمودار شنوایی گوش سالم انسان (شدت صوت برحسب بسامد) رسم شده‌است



همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، صوت‌هایی که بسامد آن‌ها بین ۲۰۰۰Hz تا ۴۰۰۰Hz باشد، با کم‌ترین شدت صوت شنیده می‌شوند.

۱۰–آستانه‌ی شنوایی:

آهسته‌ترین صدایی (کم‌ترین شدت) را که انسان می‌تواند بشنود، آستانه‌ی شنوایی می‌نامند.

توجه : آستانه شنوایی به بسامد صوت بستگی دارد و برای هر بسامد، آستانه‌ی شنوایی مقدار مشخصی دارد. به عنوان مثال برای بسامد ۱۰۰۰Hz آستانه‌ی شنوایی برابر $۱۰^{-۱۲}\ \frac{W}{m^۲}$ است.

۱۱–آستانه‌ی دردناکی:

بلندترین صدایی (بیشینه‌ی شدت) که انسان می‌تواند بشنود بدون آن که گوش او به درد آید را آستانه‌ی دردناکی می‌نامند.

توجه : آستانه‌ی دردناکی به بسامد بستگی دارد. برای بسامدهای مختلف، آستانه‌ی دردناکی گوش سالم انسان تقریباً $۱W/m^۲$ است.

دقت کنید، هر چه شدت صوت بیش‌تر باشد، مقدار انرژی‌ای که گوش دریافت می‌کند بیش‌تر است و انسان صدا را بلندتر احساس می‌کند.

تذکر : هر چند با افزایش شدت صوت، آن صوت را بلندتر احساس می‌کنیم، اما این به آن معنی نیست که بلندی صوت با شدت آن نسبت مستقیم دارد. یعنی اگر شدت صوت دو برابر شود، بلندی صدایی که احساس می‌کنیم دو برابر نمی‌شود.

توجه : بلندی صوت به شدت صوت و حساسیت گوش شنونده بستگی دارد. لذا در یک مکان، دو نفر ممکن است یک صوت را با بلندی‌های متفاوت احساس کنند.

۱۲– به‌طور کلی برای شنیدن یک صوت توسط انسان دو شرط زیر هم زمان لازم است:

الف) بسامد صوت بین ۲۰Hz تا ۲۰۰۰۰Hz باشد.

ب) شدت صوت برای هر بسامد از مقدار معینی (آستانه‌ی شنوایی) کم‌تر نباشد.

۱۳– در لوله‌های صوتی یک انتها بسته.

الف) طول لوله برابر $L = (2n-1)\frac{\lambda_{(2n-1)}}{4}$ است.

ب)بسامد هماهنگ $(2n-1)$ ام برابر $f_{(2n-1)} = \frac{(2n-1)V}{4L}$ است.

پ) در لوله‌ی صوتی بسته n برابر است با:

تعداد شکم= تعداد گره $=n$ $\quad\quad$ شماره هماهنگ $= 2n-1$

تـذکـر : برای بم‌ترین صوت و صوت اصلی $n=1$ و $f_1 = \frac{V}{4L}$ است.

ت) در لوله‌های صوتی بسته، بسامد هماهنگ $(2n-1)$ام، $(2n-1)$برابر بسامد صوت اصلی (هماهنگ یکم)است.

$$f_{(2n-1)} = (2n-1)f_1$$

ث) اختلاف بسامدهای دو هماهنگ متوالی، دو برابر بسامد صوت اصلی (هماهنگ یکم)است.

$$f_{(2n-1)} - f_{(2n'-1)} = 2f_1$$

ج) لوله‌های صوتی بسته فقط هماهنگ‌های فرد صوت اصلی را ایجاد می‌کند.

چ) در لوله‌های صوتی بسته تعداد گره برابر تعداد شکم است.

ح) نسبت بسامد دو هماهنگ متوالی برابر نسبت دو عدد فرد متوالی است. به عنوان مثال ،اگر بسامد دو هماهنگ متوالی برابر ۱۸۰ هرتز و ۳۰۰ هرتز باشد، نسبت ۱۸۰ به ۳۰۰ برابر نسبت ۳ به ۵ است که دو عدد فرد متوالی می باشند.

مثال: اگر لوله‌ی صوتی بسته‌ای هماهنگ پنجم خود را تولیدکند ، درون آن به ترتیب چند گره و چند شکم تشکیل می‌شود؟

۱) ۳و۴ $\quad$ ۲) ۵و۵ $\quad$ ۳) ۳و۳ $\quad$ ۴) ۴و۵

حل:گزینه(۳) در لوله‌های صوتی بسته $2n-1$ برابر شماره‌ی هماهنگ است. از طرف دیگر، درلوله‌های صوتی بسته، تعداد گره‌ها و تعداد شکم‌ها با هم برابر و هر دو برابر n است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$2n-1 = 5 \Rightarrow n = 3 \Rightarrow \text{تعداد شکم} = \text{تعداد گره} = 3$$

مثال :طول لوله‌ی صوتی بسته‌ای $35cm$ و سرعت انتشار صوت در آن ۳۴۰ متر بر ثانیه است. اگر در داخل لوله ۳ گره تشکیل شده باشد، طول موج صوت حاصل و بسامد هماهنگ هفتم آن را حساب کنید.

حل: $L = (2n-1)\frac{\lambda_{(2n-1)}}{4} \xrightarrow{n=3,l=34cm} 35 = (2\times 3-1)\times\frac{\lambda_5}{4} \Rightarrow \lambda_5 = 28cm$

$$f_{(2n-1)} = \frac{(2n-1)V}{4L} \xrightarrow{2n-1=7} f_7 = \frac{7\times 350}{4\times 0/35} = 1750Hz$$

دقت کنید، در صورتی می توانیم از رابطه ی $\lambda = \frac{v}{f}$ بسامد هماهنگ هفتم را به دست آوریم که طول موج هماهنگ هفتم را داشته باشیم. در این سوال طول موج هماهنگ پنجم را داریم.

مثال : بسامد دو صوت متوالی لوله‌ی صوتی بسته‌ای برابر ۱۸۰Hz و ۳۰۰Hz است. بسامد هماهنگ هفتم این لوله را حساب کنید.

حل :اختلاف بسامدهای دو هماهنگ متوالی، دو برابر بسامد صوت اصلی (هماهنگ یکم)است.

$$f_{(2n-1)} - f_{(2n'-1)} = 2f_1 \Rightarrow 300 - 180 = 2f_1 \Rightarrow f_1 = 60Hz$$

$$f_{2n-1} = (2n-1)f_1 \xrightarrow{2n-1=7} f_7 = 7 \times 60 = 420Hz$$

مثال: اگر دمای هوای درون لوله‌ی صوتی یک انتها بسته‌ای را ۹۶ درصد افزایش دهیم، بسامدصوت اصلی آن ۸۰ هرتز اضافه می‌شود. بسامد هماهنگ پنجم این لوله را حساب کنید.

حل:ابتدا باید مشخص کنیم با افزایش دما، سرعت صوت چند برابر می شود و سپس بسامد صوت اصلی را با توجه به تغییر سرعت حساب کنیم و در پایان بسامد هماهنگ پنجم را به دست آوریم.

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{1/96T_1}{T_1}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 1/4$$

$$f_1 = \frac{V}{4L} \Rightarrow \frac{f_1'}{f_1} = \frac{V'}{V} \Rightarrow \frac{f_1 + 80}{f_1} = 1/4 \Rightarrow f_1 = 200Hz$$

$$f_{(2n-1)} = (2n-1)f_1 \xrightarrow{2n-1=5} f_5 = 5 \times 200 = 1000Hz$$

۱۴– در لوله‌های صوتی باز:

الف) طول لوله باز برابر $L = n\frac{\lambda_n}{2}$ است .

ب) بسامد صوت nام لوله باز برابر $f_n = \frac{nV}{2L}$ است .

پ) برای بم‌ترین صوت و صوت اصلی لوله باز $n = 1$ و $f_1 = \frac{V}{2L}$ است.

ت) لوله‌ی صوتی باز هماهنگ‌های فرد و زوج صوت اصلی را ایجاد می‌کند. بنابراین بسامد هماهنگ nام، n برابر بسامد صوت اصلی است.

$$f_n = nf_1$$

ث) در لوله‌ی صوتی باز اختلاف بسامد دو صوت متوالی برابر بسامد صوت اصلی است.

$$f_n - f_{(n-1)} = f_1$$

ج) در لوله‌ی صوتی باز n برابر است با:

۱– **تعداد شکم**= شماره صوت= تعداد گره= شماره هماهنگ=n

چ) نسبت بسامد دو هماهنگ متوالی برابر نسبت دو عدد صحیح متوالی است.به عنوان مثال اگر بسامد ها ی دو هماهنگ متوای برابر $۳۰۰Hz$ و $۳۶۰Hz$ باشد نسبت این دو عدد برابر $\frac{۵}{۶} = \frac{۳۰۰}{۳۶۰}$ می شود.

توجه : مورد های فوق برای تاری که دو انتهای آن بسته باشدنیز به‌کار می‌رود. تنها تفاوت آن در تعداد گره و شکم می‌باشد که در تار (1-تعداد گره = تعداد شکم=n) است.

مثال: *درون یک لوله‌ی صوتی موج ایستاده‌ای تشکیل شده است و طول لوله برابر $\frac{۷}{۴}$ طول موج است. این لوله ... است و صوت حاصل، هماهنگ ... صوت اصلی این لوله است.*

۱) یک انتها بسته، چهارم
۲) یک انتها بسته، هفتم
۳) دو انتها باز، چهارم
۴) دو انتها باز، هفتم

حل:گزینه(۲)چون طول لوله مضرب فردی از $\frac{\lambda}{۴}$ است،لوله از نوع یک انتها بسته می باشد.از طرف دیگر ازمقایسه ی $L = ۷\frac{\lambda}{۴}$ با $L = (۲n-۱)\frac{\lambda}{۴}$، می بینیم $(۲n-۱) = ۷$ است .یعنی صوت حاصل، هماهنگ هفتم صوت اصلی می باشد.

مثال : طول یک لوله‌ی صوتی که هر دو انتهای آن باز است را نصف می‌کنیم بسامد صوت اصلی و سرعت صوت آن در هوا چند برابر می‌شود؟

حل: *سرعت صوت تغییر نمی کند.زیرا سرعت صوت به طول لوله بستگی ندارد و تابع شرایط محیطی است..اما بسامدصوت اصلی ۲ برابر می شود، زیرا طبق رابطه $f_۱ = \frac{V}{۲L}$ بسامد با طول لوله نسبت عکس دارد.*

مثال : سرعت انتشار صوت در هوای درون لوله ی صوتی دو انتها بازبرابر $۴۰۰\frac{m}{s}$ است.اگر دمای هوای درون لوله را ۶۴ درصد کاهش دهیم. بسامد صوت اصلی آن ۸۰ هرتز تغییر می‌کند. طول لوله چند cm است؟

حل:*ابتدا باید مشخص کنیم با افزایش دما، سرعت صوت چند برابر می شود و سپس بسامد صوت اصلی را با توجه به تغییر سرعت حساب کنیم و در پایان طول لوله را به دست آوریم.دقت کنید چون سرعت صوت کاهش یافته است ، بسامد صوت اصلی نیز کم می شود.*

$$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{T'}{T}} \Rightarrow \frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{۰/۳۶T}{T}} \Rightarrow \frac{V'}{V} = ۰/۶ \Rightarrow \frac{V'}{۴۰۰} = ۰/۶ \Rightarrow V' = ۲۴۰\frac{m}{s}$$

$$f_۱ = \frac{V}{۲L} \Rightarrow \frac{f_۱'}{f_۱} = \frac{V'}{V} \Rightarrow \frac{f_۱ - ۸۰}{f_۱} = ۰/۶ \Rightarrow f_۱ = ۲۰۰Hz$$

$$f_۱ = \frac{V}{۲L} \Rightarrow ۲۰۰ = \frac{۴۰۰}{۲l} \Rightarrow l = ۱m = ۱۰۰cm$$

۱۵– با افزایش هماهنگ های یک لوله‌ی صوتی که طول آن ثابت باشد، طول موج هماهنگ‌های آن کم می‌شود. زیرا در لوله‌های باز $\lambda_n = \frac{۲L}{n}$ و در لوله‌های بسته $\lambda_{(۲n-۱)} = \frac{۴L}{۲n-۱}$ می‌باشد، که با افزایش n، مقدار λ کاهش می یابد .

۱۶– برای یک صوت معین ،طول موج آن صوت مضرب مشخصی از طول لوله و همواره ثابت می‌ماند. بنابراین با تغییر سرعت صوت در گاز درون لوله که در اثر تغییر کمیت‌های فیزیکی مربوط به آن گاز به‌وجود می‌آید ،طول موج آن تغییر نمی‌کند،اما بسامد آن تغییر خواهد کرد. به عنوان مثال طول موج صوت اصلی لوله‌ی باز $\lambda_1 = 2L$ است و تا وقتی L ثابت بماند، طول موج صوت اصلی نیز ثابت می‌ماند.

مثال : با افزایش دمای هوای درون یک لوله‌ی صوتی، بسامد صوت اصلی آن ... و طول موج آن در داخل لوله ...

۱) کم شده -ثابت می‌ماند. ۲) کم شده - زیاد می‌شود. ۳) زیادشده - ثابت می‌ماند. ۴) زیاد شده - کم می‌شود.

پاسخ: گزینه‌ی (۳) بنابه رابطه‌ی $V = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ ، با افزایش دما، سرعت انتشار صوت در هوای داخل لوله افزایش می‌یابد و در نتیجه، طبق رابطه‌ی $f = \frac{V}{4L}$ (برای لوله‌ی صوتی یک انتها بسته) و یا $f = \frac{V}{2L}$ (برای لوله‌ی صوتی دو انتها باز)، بسامد صوت اصلی نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر می دانیم، طول موج صوت اصلی در لوله‌ی صوتی دو انتها باز، برابر $\lambda_1 = 2L$ ودر لوله‌ی صوتی یک انتها بسته برابر $\lambda_1 = 4L$ است و بستگی به طول لوله دارد.چون در این‌جا طول لوله تغییر نکرده است، بنابراین، طول موج صوت اصلی نیز تغییر نخواهد کرد.

مثال :وقتی در یک لوله‌ی صوتی ، هماهنگ‌های صوت اصلی ایجاد می‌شوند، سرعت صوت داخل لوله و طول موج ارتعاشات به ترتیب (از راست به چپ) چگونه تغییر می‌کند؟

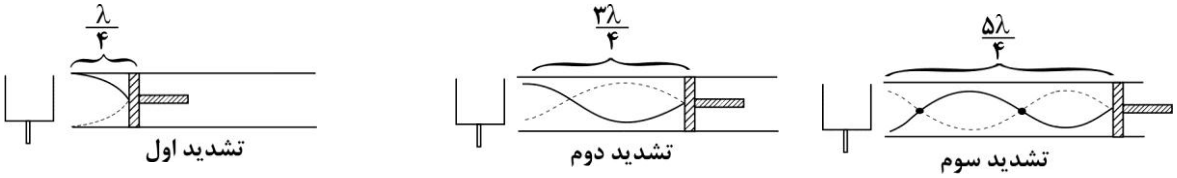
۱) ثابت مانده، کم می‌شود. ۲) ثابت مانده، زیاد می‌شود. ۳) زیاد می‌شود، زیاد می‌شود. ۴) کم می‌شود، کم می‌شود.

پاسخ : گزینه (۱)سرعت انتشار صوت در گاز درون لوله بستگی به دما و جنس گاز درون آن دارد. چون دما و جنس گاز تغییر نکرده است، سرعت انتشار صوت در گاز درون لوله ثابت می‌ماند. اما بنابه رابطه‌ی $\lambda_n = \frac{L}{2n}$ برای لوله‌ی دو انتها باز و رابطه‌ی $\lambda = \frac{4L}{2n-1}$ برای لوله‌ی یک انتها بسته، با تولید هماهنگ‌های صوت اصلی، n افزایش می‌یابد، در نتیجه طول موج کاهش خواهد یافت. یا می‌توان گفت، با تولید هماهنگ‌های صوت اصلی ،بسامد افزایش می‌یابد، در نتیجه، بنابه رابطه‌ی $\lambda = \frac{V}{f}$ و با توجه به این که V ثابت است، λ کاهش می‌یابد.

۱۷– وقتی دیاپازونی در مقابل دهانه ی یک لوله صوتی به نوسان در آید و طول لوله را تغییر دهیم ،برای هر بار تشدید بسامد لوله برابر بسامد دیاپازون و طول موج صوت درون لوله ثابت و برابر $\lambda = \frac{V}{f}$ است.fبسامد دیاپازون و V سرعت انتشار صوت است.

۱۸– اگر بین یک لوله صوتی ویک دیاپازون تشدید ایجاد کنیم ، برای اولین تشدید، طول لوله دو انتها باز برابر $\frac{\lambda}{۲}$ و طول لوله یک انتها بسته برابر $\frac{\lambda}{۴}$ است و برای تشدید های بعدی به ازای هر تشدید به طول لوله $\frac{\lambda}{۲}$ اضافه می شود.

در شکل‌های زیر تغییر طول لوله برای سه تشدید در لوله‌ی بسته نشان داده شده‌است.



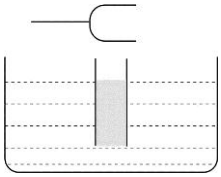
مثال: دیاپازونی با بسامد ۴۴۰Hz مقابل دهانه‌ی یک لوله‌ی صوتی باز که طولش متغیر است نوسان می‌کند. با تغییر طول لوله سه بار در هوای درون لوله تشدید حاصل می‌شود. از اولین تا سومین تشدید طول لوله چند سانتی‌متر تغییر کرده‌است؟ (سرعت صوت در هوای داخل لوله $۳۳۰\frac{m}{s}$ است.)

۱) ۱۵۰ ۲) ۷۵ ۳) ۳۷/۵ ۴) هیچکدام

پاسخ: گزینه ی(۲)در لوله ی دو انتها باز ، برای اولین تشدید طول لوله برابر $L_۱ = \frac{\lambda}{۲}$ و برای سومین تشدید طول لوله برابر $L_۲ = ۳\frac{\lambda}{۲}$ است.درنتیجه تغییر طول لوله برابر $\Delta L = ۳\frac{\lambda}{۲} - \frac{\lambda}{۲} = \lambda$ است.بنابراین با محاسبه ی λ ،تغییر طول لوله به دست می آید.

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳۳۰}{۴۴۰} = ۰/۷۵m = ۷۵cm \qquad \Delta L = \lambda = ۷۵cm$$

مثال :یک انتهای باز یک لوله‌ی صوتی دو سر باز در داخل آب قرار دارد و در هوای داخل آن توسط دیاپازونی به بسامد ۶۴۰ هرتز تشدید ایجاد شده‌است. لوله را چند سانتی‌متر از آب خارج کنیم تا صدای تشدید بعدی شنیده شود؟ سرعت انتشار صوت در هوای درون لوله $۳۲۰\frac{m}{s}$ است؟



پاسخ:برای تشدید بعدی باید طول لوله را به اندازه ی $\frac{\lambda}{۲}$ از آب خارج کنیم.

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳۲۰}{۶۴۰} = ۰/۵m = ۵۰cm \qquad \Delta L = \frac{\lambda}{۲} = \frac{۵۰}{۲} = ۲۵cm$$

مثال :لوله‌ی بازی به طول ۴۵cm را به‌طور کامل در آب فرو می‌بریم و یک دیاپازون را بالای سطح آب به نوسان در آورده و لوله را به تدریج از آب خارج می‌کنیم. اگر بسامد دیاپازون ۶۶۰Hz و سرعت انتشار صوت در داخل لوله ۳۳۰$\frac{m}{s}$ باشد، حداکثر چند بار صدای صوت دیاپازون توسط لوله‌ی صوتی تشدید می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

حل:گزینه(۲)ابتدا طول موج را حساب کنیم وسپس طولی از لوله که برای هرتشدید لازم است را به دست می آوریم و با طول اصلی لوله مقایسه می کنیم.

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{۳۳۰}{۶۶۰} = ۰/۵m = ۵۰cm$$

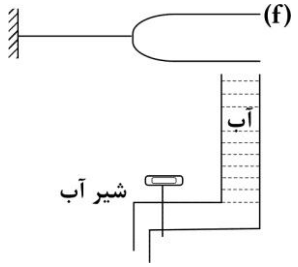
اولین تشدید $L_۱ = \frac{\lambda}{۴} = \frac{۵۰}{۴} = ۱۲/۵cm$

دومین تشدید $L_۲ = ۳\frac{\lambda}{۴} = \frac{۳\times ۵۰}{۴} = ۳۷/۵cm$

سومین تشدید $L_۳ = ۵\frac{\lambda}{۴} = \frac{۵\times ۵۰}{۴} = ۶۲/۵cm$

چون طول لوله ۴۵ سانتی متر است،سومین تشدید لوله ی بسته رخ نمی دهد.اکنون حالتی که لوله باز باشد را بررسی می کنیم. برای لوله ی باز، برای اولین تشدید باید طول لوله دقیقابرابر $L_۱ = \frac{\lambda}{۲} = \frac{۵۰}{۲} = ۲۵cm$ و برای دومین تشدید طول لوله باید دقیقا برابر $L_۲ = ۳\frac{\lambda}{۲} = \frac{۳\times ۵۰}{۲} = ۷۵cm$ باشد .چون طول لوله ۴۵cm است ،برای لوله باز تشدید رخ نمی دهد.بنابر این در مجموع ۲ تشدید رخ خواهد داد.

مثال : در شکل زیر بسامد دیاپازون ۶۸۰Hz است. شیر را باز می‌کنیم،هنگامی که سطح آب در لوله ۱۲/۵cm پایین می‌رود برای اولین بار لوله به صدا در می‌آید. سرعت صوت درون لوله را حساب کنید.



پاسخ:برای اولین بار طول لوله برابر $\frac{\lambda}{۴}$ است.

$$\frac{\lambda}{۴} = ۱۲/۵ \Rightarrow \lambda = ۵۰cm = ۰/۵m$$

$$\lambda = \frac{V}{f} \Rightarrow ۰/۵ = \frac{V}{۶۸۰} \Rightarrow V = ۳۴۰\frac{m}{s}$$

۱۹–هرگاه بسامدهای دو هماهنگ مشابه لوله‌ی صوتی دو انتها باز و لوله‌ی صوتی یک انتها بسته با هم برابر باشند، در شرایط یکسان، طول لوله‌ی باز دو برابر طول لوله‌ی بسته است.

$$\text{باز } f_n = f'_{2n'-1} \xrightarrow{n=2n'-1} \frac{nV}{2L} = \frac{(2n'-1)V}{4L'} \Rightarrow L = 2L'$$

مثال : بسامد صوت اصلی دو لوله‌ی صوتی یکی دو انتها باز و دیگرییک انتها بسته با هم برابر و هر کدام $300Hz$ است. اگر این دو لوله را به هم وصل کنیم و یک لوله‌ی صوتی جدید بسازیم، بسامد صوت اصلی آن چند هرتز است؟

۱) ۲۵۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۱۵۰ ۴) ۱۰۰

حل: گزینه‌ی(۴) چون بسامد اصلی دو لوله با هم برابر است ،طول لوله ی دو انتها باز ۲ برابر طول لوله ی یک انتها بسته است.زیرا:

$$f_n = f'_{2n'-1} \xrightarrow{n=2n'-1} \frac{nV}{2L} = \frac{(2n'-1)V}{4L'} \Rightarrow L = 2L'$$

حال، اگر این دو لوله را به هم وصل کنیم، لوله‌ی صوتی یک انتها بسته‌ی جدیدی ساخته می‌شود که طول آن برابر است با:

$$\text{طول لوله‌ی بسته‌ی جدید } L'' = L + L' = L' + 2L' \Rightarrow L'' = 3L'$$

با توجه به این‌که بسامد صوت اصلی لوله‌ی یک انتها بسته‌ی اولیه $f'_1 = 300Hz$ است، بسامد صوت اصلی لوله‌ی یک انتها بسته‌ی جدید برابر ست:

$$\text{با: } f_1 = \frac{V}{4L} \Rightarrow \frac{f''_1}{f'_1} = \frac{L'}{L''} \Rightarrow \frac{f''_1}{300} = \frac{L'}{3L''} \Rightarrow f''_1 = 100Hz$$

۲۰– اگر طول یک لوله‌ی دو انتها باز برابر طول یک لوله‌ی یک انتها بسته باشد، در شرایط یکسان، بسامد یک هماهنگ مشخص از لوله‌ی دو انتها باز دو برابر بسامد همان هماهنگ از لوله‌ی یک انتها بسته است.

$$\text{باز } L = L' \text{ بسته} \Rightarrow f = 2f'$$

مثال: یک لوله‌ی صوتی یک انتها بسته، صوت اصلی با بسامد f را ایجاد می‌کند. اگر انتهای لوله باز شده و باز هم صوت اصلی ایجاد شود، بسامد صوت چند برابر f خواهد بود؟

۱) $\frac{1}{4}$ ۲) $\frac{1}{2}$ ۳) ۲ ۴) ۴

حل: گزینه(۳) با استفاده از رابطه های $f = \frac{V}{4L}$ و $f = \frac{V}{2L}$ می توان نوشت:

$$L = L' \Rightarrow \frac{V}{4f} = \frac{V}{2f'_1} \Rightarrow f'_1 = 2f$$

۲۱– شدت صوت:

شدت صوت عبارت است از مقدار انرژی‌ای که در واحد زمان به واحد سطح عمود بر راستای انتشار می‌رسد. و از رابطه های ر به دست می آید.

$$I = \frac{E}{A.t} \xrightarrow{E=Pt} I = \frac{P}{A}$$

توجه : چون موج‌های صوتی کروی شکل است، بنابراین سطحی که انرژی موج‌های صوت به آن می‌رسد، یک سطح کروی است که مساحت آن از رابطه‌ی $A = 4\pi r^2$ قابل محاسبه است.

مثال: امواج صوتی حاصل از یک منبع صوت در هوا به شکل کره منتشر می‌شوند . اگر توان یک منبع $\pi\times10^{-5}$ وات باشد ، شدت صوت آن در یک نقطه به فاصله‌ی ۰/۵ متر از منبع، چند میکرو وات بر متر مربع خواهد بود؟

۱) ۱ ۲) ۱۰ ۳) ۰/۱ ۴) ۰/۴

حل:

$$I=\frac{P}{A}\Rightarrow I=\frac{P}{4\pi\times r^2}=\frac{\pi\times10^{-5}}{4\pi\times(0/5)^2}=10^{-5}\frac{w}{m^2}=10\frac{\mu w}{m^2}$$

۲۲– برای مقایسه شدت صوت در دو حالت از رابطه ی زیر استفاده می کنیم.

$$\frac{I_2}{I_1}=(\frac{A_2}{A_1}\times\frac{f_2}{f_1}\times\frac{r_1}{r_2})^2$$

مثال: فاصله شنونده‌ای از منبع صوت دو برابر شده ، اگر دامنه ارتعاش در منبع نیز دو برابر شود شدت صوت برای شنونده چند برابر می‌شود؟

۱) ۲ ۲) ۱ ۳) $\frac{1}{2}$ ۴) $\frac{1}{4}$

حل: گزینه ی(۲)

$$\frac{I_2}{I_1}=(\frac{A_2}{A_1}\times\frac{f_2}{f_1}\times\frac{r_1}{r_2})^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=(\frac{2A_1}{A_1}\times1\times\frac{d_1}{2d_1})^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=1$$

۲۳– تراز شدت یک صوت عبارت است از لگاریتم (در پایه ده) شدت آن صوت نسبت به شدت صوت مبنا.

بل $\beta=\text{Log}\frac{I}{I_\circ}$ (b) دسی‌بل $\beta=10\text{Log}\frac{I}{I_\circ}$ (db)

در این رابطه $I_\circ$ شدت صوت مبنا است و برابر $I_\circ=10^{-12}\ W/m^2$ می‌باشد.

مثال: شنونده‌ای که مساحت پرده‌ی گوشش $60mm^2$ است، تراز شدت صوت حاصل از یک منبع را $50db$ احساس می‌کند، انرژی که در مدت $50s$ به پرده‌ی گوش این شنونده می‌رسد، چند میکروژول است؟ $I_\circ=10^{-6}\frac{\mu w}{m^2}$

۱) ۳ ۲) ۳۰۰ ۳) 3×10^{-4} ۴) 6×10^{-6}

حل : گزینه ۳)ابتدا با استفاده از رابطه ی تراز شدت صوت ، I را حساب می کنیم و سپس از رابطه ی شدت صوت انرژی را به دست می آوریم.

$$\beta=10\log\frac{I}{I_\circ}\Rightarrow50=10\log\frac{I}{10^{-12}}\Rightarrow5=\log\frac{I}{10^{-12}}\xrightarrow{\log10^5=5}\log10^5=\log\frac{I}{10^{-12}}$$

$$\Rightarrow10^5=\frac{I}{10^{-12}}\Rightarrow I=10^{-7}\frac{w}{m^2}$$

$$I=\frac{E}{A\times t}\Rightarrow10^{-7}=\frac{E}{60\times10^{-6}\times50}\Rightarrow E=3\times10^{-10}J=3\times10^{-4}\mu J$$

۲۴– برای محاسبه‌ی تغییر تراز شدت یک صوت از رابطه‌ی $\Delta\beta = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱}(db)$ استفاده می‌کنیم.

برای مبحث تراز شدت صوت تسلط برمحاسبه لگاریتم ضروری است.

$$\log a^n = n\log a \quad \text{و} \quad \log ab = \log a + \log b \quad \text{و} \quad \log\frac{a}{b} = \log a - \log b$$

مثال: در فاصله‌ی ۱۰ متری از یک منبع صوت، تراز شدت صوت $۲۰db$ بیش‌تر از تراز شدت صوت آستانه‌ی دردناکی است. در فاصله‌ی چند متری از این منبع صوت تراز شدت صوت $۲۰db$ کم‌تر از تراز شدت صوت آستانه‌ی دردناکی است؟ (از جذب انرژی توسط محیط صرف‌نظر شود.)

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰

۳) ۲۰۰ ۴) ۱۰۰۰

حل: گزینه (۴) اگر تراز شدت صوت آستانه ی در دناکی را β در نظر بگیریم،وقتی $r_۱ = ۱۰m$ است $\beta_۱ = \beta + ۲۰$ می باشد.می خواهیم ببینیم در چه فاصله ای $(r_۲)$ از منبع صوت $\beta_۲ = \beta - ۲۰$ می شود.بنابر این با استفاده از رابطه ی تغییر تراز شدت صوت می توان نوشت:

$$\Delta\beta = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow \beta - ۲۰ - (\beta + ۲۰) = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow -۴۰ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow -۴ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow \frac{I_۲}{I_۱} = ۱۰^{-۴}$$

از طرف دیگر داریم:

$$\frac{I_۲}{I_۱} = (\frac{r_۱}{r_۲})^۲ \Rightarrow ۱۰^{-۴} = (\frac{۱۰}{r_۲})^۲ \Rightarrow ۱۰^{-۲} = \frac{۱۰}{r^۲} \Rightarrow r_۲ = ۱۰۰۰m$$

۲۵: در مکانی که صوت به زحمت شنیده می‌شود، تراز شدت صوت برابر صفر است.

مثال: در فاصله‌ی ۲۰ متری از یک چشمه‌ی صوت، تراز شدت صوت $۴۰dB$ است. در چه فاصله‌ای از این چشمه می‌توان صوت را به زحمت شنید؟ (از جذب صوت به وسیله‌ی هوا چشم‌پوشی کنید.)

پاسخ: در مکانی که صوت به زحمت شنیده می‌شود، تراز شدت صوت برابر صفر است.بنابراین $\beta_۲ = ۰$ است.

$$\Delta\beta = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۰ - ۴۰ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \xrightarrow{\frac{I_۲}{I_۱} = (\frac{r_۱}{r_۲})^۲} -۴ = \log(\frac{r_۱}{r_۲})^۲ \Rightarrow$$

$$-۴ = ۲\log(\frac{۲۰}{r_۲}) \Rightarrow -۲ = \log(\frac{۲۰}{r_۲}) \Rightarrow ۱۰^{-۲} = \frac{۲۰}{r_۲} \Rightarrow r_۲ = ۲۰۰۰m$$

مثال: برای آن‌که تراز شدت صوتی ۶db افزایش یابد، شدت صوت باید چند برابر شود؟ $\log ۲ = ۰/۳$

پاسخ:

$$\Delta\beta = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۶ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۰/۶ = \log\frac{I_۲}{I_۱}$$

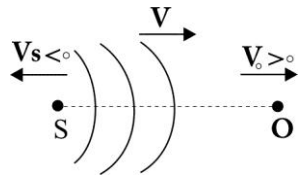
$$۲\times ۰/۳ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \xrightarrow{۰/۳=\log ۲} ۲\times\log ۲ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow \log ۲^۲ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow \frac{I_۲}{I_۱} = ۴$$

پدیده دوپلر(مخصوص رشته ریاضی)

۲۶- اگر بسامد واقعی چشمه‌ی صوت را با f_S، بسامد صوتی که شنونده دریافت می‌کند را با $f_\circ$، سرعت شنونده را با $V_\circ$، سرعت چشمه‌ی صوت را با V_S و سرعت انتشار صوت در محیط را با V نشان دهیم، رابطه‌ی زیر برای اثر دوپلر وجود دارد.

$$f_\circ = \frac{V - V_\circ}{V - V_S}\times f_S$$

تـذکـر مـهـم : جهت انتشار صوت به طرف شنونده را مثبت فرض می‌کنیم. بنابراین ،اگر سرعت شنونده $(V_\circ)$ و سرعت چشمه‌ی صوت (V_S) در جهت سرعت انتشار صوت باشند، آن‌ها را با علامت مثبت و اگر در خلاف جهت سرعت انتشار صوت باشند، با علامت منفی در رابطه‌ی دوپلر قرار می‌دهیم. دقت کنید، شنونده را با O و چشمه‌ی صوت را با S نشان داده‌ایم.

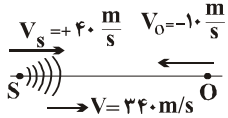


نکته : هرگاه چشمه‌ی صوت و شنونده به یک‌دیگر نزدیک شونده بسامد صوتی که شنونده دریافت می‌کند، بزرگ‌تـر از بسـامد واقعی چشمه‌ی صوت صوت و اگر از هم دور شوند، بسامد دریافتی کم‌تر از بسامد چشمه‌ی صوت است.

مثال: *یک منبع صوتی و یک شنونده در یک راستا به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند ، اگر بسامد صوت منبـع ۱۲۰۰ هرتـز و سـرعت منبـع و شنونده به ترتیب* $۴۰\,m/s$ *و* $۱۰\,m/s$ *باشد ، بسامد دریافتی به وسیله‌ی شنونده چند هرتـز اسـت ؟ (سـرعت انتشـار صـوت* $۳۴۰\,m/s$ *است.)*

۱) ۱۳۲۰ ۲) ۱۱۲۲ ۳) ۱۴۰۰ ۴) ۱۵۰۰

پاسخ :گزینه‌ی(۳) با توجه به شکل زیر ،چون جهت مثبت را از (S به O)در نظر گرفتـه‌ایـم $V_S > ۰$ و $V_O < ۰$ است. بنا براین می‌توان نوشت:



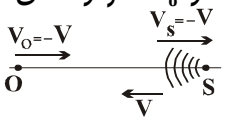
$$f_\circ = \frac{V - V_\circ}{V - V_S}\times f_S = \frac{۳۴۰-(-۱۰)}{۳۴۰-۴۰}\times ۱۲۰۰ \Rightarrow f_\circ = ۱۴۰۰Hz$$

۲۷– هرگاه منبع صوت و شنونده نسبت به هم در حال حرکت باشند و در طی حرکت فاصله ی بین آن ها ثابت بماند،بسامد صوتی که شنونده دریافت می کند برابربسامد منبع صوت است.

مثال: یک منبع صوتی با سرعت V و شخصی از فاصله‌ی d با همان سرعت به دنبال آن در حرکت است. در این صورت می‌توان گفت شخص مزبور:

۱) صدا را با بسامد نصف بسامد منبع می‌شنود.
۲) صدا را با همان بسامد منبع می‌شنود.
۳) صدا را با بسامد دو برابر بسامد منبع دریافت می‌کند.
۴) صدای منبع را نمی‌شنود.

پاسخ: گزینه‌ی (۲) با توجه به شکل زیر ،چون جهت مثبت را از (S به O)در نظر گرفته‌ایم، V_s و V_o هردو منفی هستند.بنابر این می‌توان نوشت:

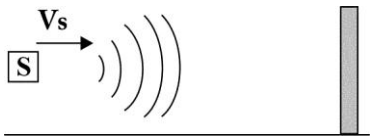


$$f_\circ = \frac{V - V_\circ}{V - V_s} \times f_s = \frac{V-(-V)}{V-(-V)} \times f_s \Rightarrow f_\circ = f_s$$

می‌بینیم، بسامدی که شنونده دریافت می‌کند، با بسامد منبع برابر است.

۲۸ – اگر شنونده در داخل منبع صوت باشد (مانند راننده‌ی آمبولانس) و منبع صوت با سرعت V_S به طرف صخره حرکت کند و صوت بازتاب شده از روی صخره را بشنود، بسامد صوتی که راننده دریافت می‌کند از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$f_\circ = \frac{V + V_S}{V - V_S} \times f_S$$



در صورتی که خودرو از صخره دور شود، بسامد صوت دریافتی توسط راننده‌ی خودرو از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$f_\circ = \frac{V - V_S}{V + V_S} \times f_S$$

تـوجه : شنونده‌ی ساکن، صوت برگشتی از صخره را با بسامد $f_\circ = \frac{V}{V \pm V_S} f_S$ دریافت می‌کند.

علامت(–)برای حالتی است که منبع صوت به طرف صخره حرکت کند و علامت (+) برای حالتی است که منبع صوت از صخره دور می شود.

مثال :خودرویی که با سرعت $۲۰\frac{m}{s}$ در جاده ای وبه طرف صخره ای در حال حرکت است ،آژیر خود را با بسامد $۶۶۰Hz$ به صدا در می‌آورد. صدای آژیر پس از برخورد به صخره‌ای که در مسیر مستقیم خودرو واقع است بازتاب نموده و به گوش راننده‌ی خودرو می‌رسد. راننده این صدا را با چه بسامدی دریافت می‌کند؟ $V = ۳۵۰\frac{m}{s}$

حل:

$$f_{\circ} = \frac{V + V_S}{V - V_S} \times f_S \Rightarrow f_o = \frac{۳۵۰ + ۲۰}{۳۵۰ - ۲۰} \times ۶۶۰ = ۷۴۰Hz$$

مثال: اتومبیلی آژیر کشان با سرعت ۰/۱ سرعت صوت به سمت یک صخره درحال حرکت است و شنونده‌ای در فاصله‌ی بین صخره و اتومبیل در حال سکون قرار دارد. اگر بسامد آژیر $۹۰۰Hz$ باشد، بسامد صداهایی که شنونده از اتومبیل و صخره دریافت می‌کند به‌ترتیب چند هرتز می‌باشند؟

۱) ۸۱۰، ۸۱۰ ۲) ۱۰۰۰، ۱۰۰۰ ۳) ۱۱۰۰، ۱۰۰۰ ۴) ۱۰۰۰، ۱۱۰۰

حل:گزینه(۲) بسامدی که شنونده ازاتومبیل در یافت می کند برابر است با:

$$f_{\circ} = \frac{V - V_o}{V - V_S} f_S \Rightarrow f_o = \frac{V - ۰}{V - ۰/۱V} \times ۹۰۰ = ۱۰۰۰Hz$$

چون صخره و شنونده ساکنند،بسامد برگشتی از صخره برابرهمان $۱۰۰۰Hz$ است.البته با محاسبه هم ، همین عدد به دست می آید.

$$f_{\circ} = \frac{V}{V - V_S} f_S = \frac{V}{V - ۰/۱V} \times ۹۰۰ = ۱۰۰۰Hz$$

۲۹– اگر چشمه‌ی صوت ساکن باشد، طول موج صوت ایجاد شده توسط منبع صوت در همه‌ی جهت‌ها ثابت و برابر $\lambda_S = \frac{V}{f_S}$ است. اما اگر چشمه‌ی صوت در حال حرکت باشد، طول موج صوت چشمه در جلو و عقب آن ثابت نمی‌ماند، دراین حالت طول موج جلوی چشمه کم‌تر از طول موج در عقب آن است و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$\lambda_{\circ} = \frac{V \pm V_S}{f_S}$$

علامت(+) برای طول موج عقب و علامت(-) برای طول موج جلو چشمه صوت است.

تذکر مهم : حرکت شنونده تأثیری در طول موج صوت در جلو و عقب چشمه‌ی صوت ندارد.

مثال: در مکانی که سرعت صوت $۳۳۰\frac{m}{s}$ است، شنونده و چشمه‌ی صوتی هر کدام با سرعت $۳۰\frac{m}{s}$ در یک راستا در خلاف جهت هم حرکت می کنند و به یکدیگر نزدیک می‌شوند. اگر بسامد چشمه‌ی صوت $۸۰۰Hz$ باشد، طول موج صوتی که به این شنونده می‌رسد چند متر است؟

۱) $\frac{۳}{۸}$ ۲) $\frac{۱۱}{۳۲}$ ۳) $\frac{۳۳}{۸۰}$ ۴) $\frac{۹}{۲۰}$

حل:گزینه(۱)در این جا باید طول موج جلو اتومبیل را حساب کنیم.دقت کنید، سرعت شنونده در طول موج تاثیری ندارد.

$$\lambda_{front} = \frac{V - V_s}{f_s} = \frac{۳۳۰ - ۳۰}{۸۰۰} = \frac{۳}{۸}$$

۳۰– برای محاسبه‌ی اختلاف طول موج عقب و جلوی منبع صوت از رابطه‌ی زیر استفاده کنید.

$$\Delta\lambda = \frac{۲V_S}{f_S}$$

مثال: یک منبع صوت با سرعت ثابت $۲۵\frac{m}{s}$ در مسیر مستقیم در حرکت است. اگر اختلاف طول موج در جلو و عقب منبع صوت $۶/۲۵cm$ باشد، بسامد منبع صوت چند هرتز است؟

۱) ۴۰۰ ۲) ۶۰۰ ۳) ۸۰۰ ۴) ۱۲۰۰

حل: گزینه ی(۳)

$$\Delta\lambda = \frac{۲V_S}{f_s} \Rightarrow ۶/۲۵\times۱۰^{-۲} = \frac{۲\times۲۵}{f_s} \Rightarrow f_s = ۸۰۰Hz$$